

佐賀平野の地盤沈下と 社会資本損失

八谷陽一郎 | 佐賀県環境センター

三浦哲彦 | 佐賀大学理工学部都市工学科

田尻宣夫 | 復建調査設計(株)技術研究所

児玉信之 | 復建調査設計(株)技術研究所

1. はじめに

地下水揚水は、生活用水や工業、農業等の生産活動に必要な用水を供給し、地域社会に多くの貢献をする。一方、地盤沈下をはじめとして、地下水の塩水化等の地下水障害など、極めて多様な影響も及ぼす。地下水揚水にとまなう種々の影響は、渇水等の特殊な条件のときを除けば、いずれも時間的にゆっくりとした形で出現する。すなわち、被害もしくは影響の大きさが目に見えないために、その深刻さが正しく認識されない傾向にある。地下水の過剰揚水の社会的影響を定量的に把握することは、上述の被害や影響の未然防止対策等を推進するうえで極めて有意義なものである。また、地下水揚水による被害の経済的影響を定量的に評価することができれば、地盤沈下量等の力学的な観点ばかりでなく、経済的な観点から地下水揚水を管理していくことも可能となる。地盤沈下による経済的損失の評価は複雑で難しいものであるが、最近いくつかの試みがなされている¹⁾。本報では、地盤沈下による経済的損失を社会資本の損失とみなし、その一評価手法の提案を行う

とともに、提案手法をもとに佐賀平野の地盤沈下と社会資本損失について検討した。

2. 地盤沈下の影響とその経済的評価

地盤沈下は本来不可逆的な現象であり、その被害を原形に復旧することは困難であり、様々な形で地域社会に影響を与えることになる。その結果、地域社会は多額の経済的負担を余儀なくされる。地盤沈下により、学校、水路、道路、河川・海岸堤防、農地、農業施設等の社会資本は、建物の抜け上がり、水路の排水機能の低下、堤防の機能低下、農地の不陸など様々な被害を受ける。そこで、これらの影響の除去や緩和のための措置として、あらかじめ影響緩和型の設計をしたり、耐用年数の短縮、維持・補修の充実が図られる。その結果、地盤沈下は、地域社会に多額な経済的負担を強いる結果を生じせしめる。また、地下水の塩水化が進行すれば、その浄化のための措置や代替水源の確保など多額な経済的負担を与えることになる。さらに、低平地において地盤沈下が進行すると、海面や河川水面との相対的高さの低下をきたし、洪水や地震などの災害リスクが増大する。地盤沈下

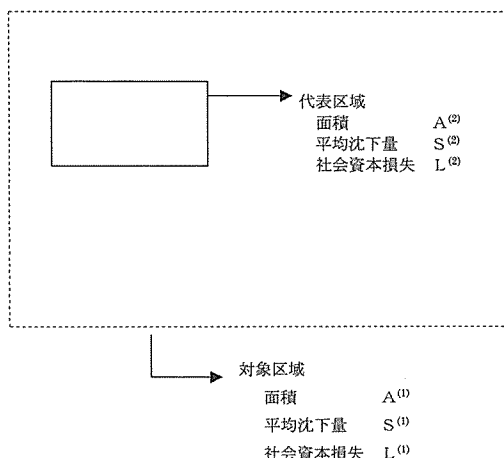


図-1 地盤沈下による社会資本損失の試算概念図

被害の経済的評価を厳密に行うためには、上述の問題に関わる経済的負担や洪水をはじめとする災害リスクに対する経済的評価を細かく行っていく必要がある。

3. 簡易的な社会資本損失評価手法の提案

地盤沈下の経済的影響の大きさについて、その大まかな目安を得るため、沈下した地形を原形に復旧するための事業費に見合う社会資本の損失と定義し、面的な地盤沈下量の分布に基づいて試算する手法が考えられる。地盤沈下現象の特性から、このような試算を行う対象区域は必然的に広域なものとなるため、全対象区域を詳細に検討するには多くの費用と時間を費やさなければならなくなる。そこで図-1に示すように、対象区域内でさらに代表する区域を設け、その代表区域について詳細な調査を行った結果を対象区域全体に類推するのが現実的である。図-1中の代表区域内の社会資本損失について、社会資本の種類別（道路、水路、小学校、宅地、耕地）に、原形復旧経費を算出する。次に、代表区域に対する対象区域の面積および平均沈下量の比を求め、代表区域の社会資本損失額に乘じることで、対象区域の社会資本損失額を外挿する。

4. 社会資本損失評価の適用事例

(1) 航空写真を用いた数値図化システムの適用

比較的大きな地盤沈下が依然として進行している白石地区を対象に、3.で述べた評価手法を適用した。地盤沈下による社会資本損失の評価を行うために、地盤沈下量を面的に正確に把握することが必要となる。従来の地盤沈下の調査は、地域内に埋設された水準点を水準測量により測量するものであり、いわば点的情報しか得られない。これから面的情報を得るには、水準点間の内挿に依存するしかなく、その精度は極めて低いものとなる。そこで、地盤沈下を面的に一定の精度で把握する手法として、航空写真を用いた数値図化システム²⁾の適用を行った。

佐賀県では、1973年5月に佐賀平野全域について撮影縮尺1/6,000の航空写真が撮影され、これから地盤高図が作成されている。そこで、1994年2月と1995年3月に白石地区の一部について航空写真撮影を行い、1973年～1994年（約21年間）及び1994年～1995年（異常渇水時の約1年間）の地盤沈下の面的評価を行った。航空写真撮影は合計3回行っているが、各撮影時の条件を示すと次のとおりである。

1973年5月	高度：918m 縮尺：1/6000 範囲：佐賀平野全域
1994年2月	高度：1200m 縮尺：1/8000 範囲：白石地区の一部
1995年3月	高度：1200m 縮尺：1/8000 範囲：白石地区の一部

図-2に示すように、1994年と1995年の航空写真撮影の範囲（社会資本損失評価の対象地区）は、1994年の異常渇水時に深刻な地盤沈下被害が発生した白石町須古地区を中心に白石町から有明町に及ぶ帯状の地区14km²とした。代表区域として、対象区域内



図-2 社会資本損失評価の対象区域

の北西部地域 1km²を選定した。図-3 は、航空写真を用いた数値図化システムによる解析から対象区域の標高値を1973年および1994年について断面的に示したものである。これより、対象区域内では、この21年間の最大沈下量約 1 m、平均沈下量約 0.5m となっており、比較的均等に沈下しているのが分かる。また、標高 0 m の等高線が約 1 km 陸側に移動している。このように、21年間の地盤沈下量の面的な把握には、航空写真による数値図化システムが有効に適用でき

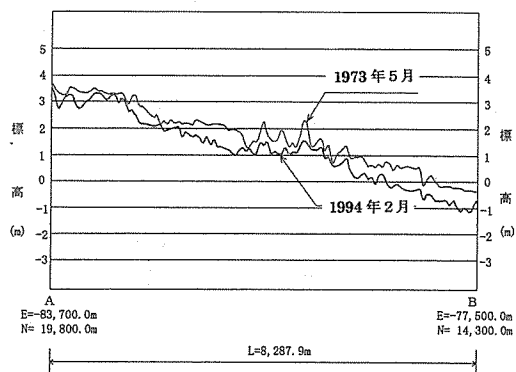


図-3 航空写真測量に基づく縦断面図 (1973-1994)

表-1 代表区域内の社会資本損失計算表

		宅 地	耕 地	学 校	道 路	水 路	合 計
単価 (円/cm・m ²)		52.4	64.4	57.2	6.8	216.0	
沈下量 階級Ⅰ 中央値 =2.5cm	面積 (m ²)	10,200	48,815	6,200	3,512	782	69,509
	復旧費 (千円)	1,336	7,859	887	60	422	10,564
沈下量 階級Ⅱ 中央値 =7.5cm	面積 (m ²)	72,784	663,673	17,174	56,190	18,446	828,267
	復旧費 (千円)	28,604	320,554	7,367	2,865	29,882	389,272
沈下量 階級Ⅲ 中央値 =12.5cm	面積 (m ²)	2,386	8,897	0	1,101	12	12,396
	復旧費 (千円)	1,562	7,162	0	94	32	8,850
合 計	面積 (m ²)	85,370	721,385	23,374	60,803	19,240	910,172
	復旧費 (千円)	31,502	335,572	8,254	3,019	30,336	408,683

代表区域内面積

$$A^{(2)} = 1 \text{ km}^2$$

代表区域内平均沈下量

$$S^{(2)} = (92.5 \times 69,504 + 7.5 \times 828,267 + 12.5 \times 12,396) / 1,000,000 = 6.5 \text{ cm}$$

代表区域内社会資本損失

$$L^{(2)} = 408 \text{ 百万円}$$

る。

一方、このシステムにより得られる地盤高の精度は、航空写真撮影時の飛行高度に依存し、高度が低いほど精度が高くなるものであるが、対象地域が広域である場合、撮影枚数が増大する。今回の試みでは、1994年から1995年の約1年間の沈下量を算定するに際し、航空写真撮影は必ずしも十分な精度を与えていない。そこで、1994～1995年の1年間の沈下量の面的把握については、水準測量により得られている点情報を内挿することにより作成した等量線図を用いた。なお、代表区域内の社会資本毎の沈下量の算定に際しては、航空写真による社会資本配置図に基づいて行った。

(2) 調査対象区域での社会資本損失の算定

上述の地盤沈下に関する面的情報に基づき社会資本損失の試算を行った。表-1に、代表区域(1km²)について、社会資本の種類別に1994年～1995年の1年間の地盤沈下を原形に復旧するための事業費の試算結果

表-2 対象区域での社会資本損失の算定結果
(対象区域：約14km²)

評価対象期間	対象区域内 平均沈下量	対象区域内社会 資本損失額
1994—1995 (1年間)	約6.6cm	約57億円
1973—1994 (21年間)	約42cm	約316億円

を示す。さらに、この結果を対象区域(約14km²)における1994年～1995年の1年間及び1973年～1994年の21年間の地盤沈下量に外挿した結果を表-2に示す。表-2から、1994年の異常渇水により約14km²の対象区域において、平均で約6.6cmの地盤沈下が発生し、その社会資本損失額は約57億円におよぶことが分かる。また、1973年以降の約21年間では平均約42cmの累積沈下が発生し、その社会資本損失額は約316億円である。

(3) 佐賀平野全域および白石地区における社会資本損失の概算

佐賀平野の地盤沈下に関する水準測量は、

表-3 佐賀平野全域及び白石地区での社会資本損失の概算

評価対象期間 (1972-1998 (26年間))

評価対象地域	沈下面積	平均沈下量	社会資本損失額	年平均社会資本損失額
佐賀平野全域	320km ²	18cm	3,700億円	140億円
白石地区	126km ²	27cm	2,100億円	80億円

1972年から実施されてきている。これらの結果³⁾をもとに大まかな沈下面積等の算出を行い、この間の社会資本損失額を類推した。なお、この試算では佐賀平野全域の平均的な社会資本の分布状況が4.(2)で述べた代表区域と類似していることを条件としている。以上の試算結果を、佐賀平野全域及び白石地区について示したのが表-3である。現在、佐賀県の県内総生産額が約25,000億円、農業粗生産額が約1,600億円、有明海におけるのり生産額が160億円程度である⁴⁾。佐賀平野全域の地盤沈下による年平均社会資本損失額は、県内総生産額の約0.6%、農業粗生産額の約10%、のり生産額にほぼ等しい額に相当し、極めて大きな額である。近年、広域的な航空写真撮影が実施されていないため、この概算は多くの誤差を含んでいるが、幸いにも1973年に佐賀平野全域についての航空写真撮影が行われているので、同一範囲について航空写真の撮影を再度実施すれば、より厳密な評価が可能となる。

5. 地下水揚水の生産性と社会資本損失

(1) 地下水利用による農業生産性

地下水揚水は、以上のように多額の経済的損失を地域社会に与えているが、一方で農業生産や住民生活を支えている。地盤沈下等の地下水揚水による影響を負の影響と考えた場合、農業の生産性の確保や住民生活の維持は正の影響といえる。白石地区においては、地下水は主に農業用水ならびに水道用水として用いられているが、これらの経済的利益（生産性）を評価しておくことも重要である。

農業用水としての地下水利用は、年によって大きく変動しているが、これを市町村別に見ると、白石町、福富町、有明町の3町でそのほとんどが揚水されている。その量は年間約300万m³～1,600万m³である。北方町ならびに大町町においては通常ほとんど地下水は利用されていない。白石町、福富町、有明町の農業粗生産額は約180億円で、生産農業所得は約90億円である。これらの地域の農業用水は、大部分は地表水が用いられており、不足分のみを地下水に頼っているが、農業の特性から地下水がなければ、その生産性はほとんど得られないものと考えられる。したがって、白石地区における農業用の地下水揚水は、約90億円の生産性（経済的利益）を有していると考えることができる。

(2) 水道用水としての経済的利益

白石地区における水道用水には、毎年約400万m³の地下水が揚水され利用されている。これを市町村別に見ると北方町、大町町、白石町、有明町で利用されており、江北町ならびに福富町では、地下水は利用されていない。水道料金についてみると、地下水を利用している4町は1,300円～1,700円/10m³程度であり、県内では比較的安い料金となっている。県内で最も高いのは、武雄市の約2,900円/10m³である。この地域は、水源に乏しい地域であり、もし、地下水を利用しないとなると相当に高い水道料金が予測される。このことから、県内で最も高い水道料金の2,900円/10m³相当を地下水揚水の価値とみなすと、年間約400万m³の水道用水で約12億円の経済的利益を与え

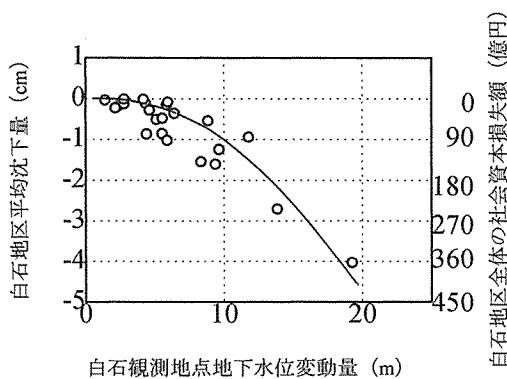


図-4 白石（佐賀県）観測点の地下水位変動量と白石地区平均沈下量、白石地区全体の社会資本損失額の関係

ていると考えることができる。

以上のことから、この地域における農業用および水道用としての地下水揚水は、毎年約100億円程度の生産性（経済的利益）を与えるものといえる。表-3に示したように、白石地区における平均的な年間の地下水揚水による社会資本損失額は約80億円であり、地下水揚水による地域社会の正味の経済的利益は極めて僅かである。この地下水揚水による生産性（経済的利益）と社会資本損失額（経済的損失）の差をできるだけ大きくする形で地下水を利用していくことが、合理的な地下水利用といえる。

6. 社会資本損失評価の地下水揚水管理への適用

一般に、地盤沈下防止のための地下水揚水管理には、地下水位変動をモニターすることにより行われる。佐賀平野（白石地区）においては、かんがい期を中心とした季節的な地下水揚水による繰返し圧密の影響を受けて地盤沈下が生じていることから、地下水位の変動量を管理指標として地下水揚水を管理することが提案されている⁵⁾。そのため、観測井等における過去の測定結果から地下水位変動量と地盤沈下量の間に一定の関係が見いだされている。

白石（佐賀県）観測点が白石地区全体を

代表する観測点として、この地下水位変動量と白石地区全体の社会資本損失額の関係を求めた。まず、白石地区の各年の最大地下水位変動量と白石地区全体の平均地盤沈下量の関係を過去のデータから求め、さらに、その平均沈下量に対応する白石地区全体の（平野部面積：146km²）の社会資本損失額との関係を図-4に示した。これは、白石観測点の地下水位の変動に着目することによって、白石地区全体の地盤沈下被害の大きな目安を与えるものであり、各種の政策決定に当たっては有意義な情報となる。例えば、図-4から白石観測点の地下水位変動量が約12mに達すると、白石地区全体の平均沈下量は約2cmに達し、その結果、白石地区全体では約180億円の社会資本損失をきたすことになる。この金額は、白石地区の地下水に依存した農業の1年間の粗生産額に相当する。

7. 結 論

地盤沈下による被害は不可逆的な性質を有しており、その影響の除去や緩和は、沈下した地盤の嵩上げなどによる原形復旧といった形ではなく、公共施設等の耐用年数の短縮、河川堤防や海岸堤防の補強や維持・補修の充実などの形で措置が講じられている。また、地域社会は、例えば洪水リスク、その他の災害リスクの増大など現実的な被害を受けることになる。このような地盤沈下被害の経済的影響の評価は、極めて複雑で困難な面が多い。本報では、このような形態で発生する被害の大きな目安として、社会資本の原形復旧に要する経費を試算する一手法について提案した。以下に得られた結果を要約する。

(1) 広域地盤沈下は、本来面的な現象であり、従来の水準測量のような点的な観測では十分な情報を得ることができない。そこで、航空写真を活用した面的な地盤沈下観測は、地盤沈下による社会資本損失評価

などの詳細な分析に極めて有益であることが分かった。

(2) 地盤沈下被害を社会資本の損失ととらえ、沈下した地形を原形に復旧するための事業費により評価する手法は、地盤沈下の経済的影響の目安を得るものとして有用である。

(3) 佐賀平野における1972年～1998年までの地盤沈下による社会資本損失額は、年平均で約140億円となることが明らかとなった。また、白石地区に限ってみれば、年平均の社会資本損失額は約80億円となる。

(4) 白石地区における農業用及び水道用の地下水揚水は、毎年約100億円程度の生産性（経済的利益）を与えることが分かった。これをこの地域の地盤沈下による年平均の社会資本損失額と比較すれば、地下水揚水による社会的な正味の利益は極めて僅かである。

(5) 白石地区について、観測井の地下水位変動量－地盤沈下量－社会資本損失額の関係が示され、地下水位変動量を把握することにより、その状況での社会資本損失額を推定することが可能となった。また、地下水揚水の管理に当たって、経済的な観点から地下水管理レベルの設定等を行うことも可能となる。

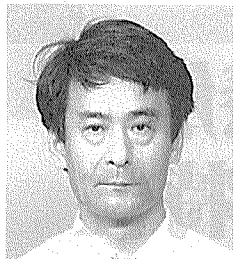
謝 辞

本研究の遂行に当たり、佐賀大学経済学部薦川正義教授には、多くのご指導とご助言をいただきました。ここに厚く御礼申し上げます。

参考文献

- 1) Jonson, A. I.: Preface, Land Subsidence, International Association of Hydrological Sciences Publication No. 200, UNESCO, 1991.
- 2) Miura, N., Hachiya, Y., Kodama, N., Tanaka, T., Tajiri, N., Okada, M.: Monitoring of Land Subsidence and Estimation of Social Capital Loss, Proceeding of the Second International Congress on Environmental Geotechnics, Osaka, Japan, Vol.2, pp.1161-1166. 1996.
- 3) 佐賀県：地盤沈下の現況, 1998.
- 4) 佐賀県：佐賀県政のあらまし, 1998.
- 5) 佐賀県, 佐賀大学：佐賀平野における地盤沈下防止のための地下水位管理システムに関する研究報告書, 1998.

■ 著者略歴



八谷陽一郎

(はちや よういちろう)

- 1973年 九州大学工学部卒業
- 1975年 九州大学大学院工学研究科修士課程修了
- 1979年 佐賀県
- 1998年 佐賀県環境センター環境理学課長
- 1999年 佐賀大学大学院工学系研究科博士後期課程修了
博士（工学）



田尻 宣夫

(たじり のぶお)

- 1976年 岡山大学農学部農業工学科卒業
- 1977年 岡山大学大学院農学研究科修士課程中退
復建調査設計株式会社
- 1990年 岡山大学大学院博士課程修了
- 1993年 復建調査設計株式会社技術研究所
主任研究員
- 1998年 復建調査設計株式会社企画開発本部
技術研究所所長
工学博士



三浦 哲彦

(みうら のりひこ)

- 1963年 九州大学工学部土木工学科卒業
- 1984年 佐賀大学理工学部教授
- 1991年 佐賀大学低平地防災研究センター長
(併任)
- 1994年 佐賀大学理工学部長（併任）
- 1996年 佐賀大学低平地防災研究センター長
(併任)
工学博士



児玉 信之

(こだま のぶゆき)

- 1977年 広島工業大学工学部土木工学科卒業
- 1977年 復建調査設計株式会社
- 1993年 復建調査設計株式会社技術研究所
主任研究員
- 1996年 佐賀大学理工学部非常勤講師